

THORPEX

A Global Atmospheric Research Programme

Melvyn Shapiro
Alan Thorpe

Commission for
Atmospheric
Sciences

THORPEX
International
Science Steering
Committee

Version 3
2 November 2004

THORPEX国际科学计划

(第三版: 2004年11月2日)

Melvyn A.Shapiro和Alan J.Thorpe 主编

THORPEX中国委员会 编译

陈德辉 薛纪善 审校



World
Meteorological
Organization
Weather·Climate·Water

WMO/TD-No.1246
WWRP/THORPEX No.2



World Weather Research Programme

气象出版社

THORPEX 国际科学计划

(第三版：2004 年 11 月 2 日)

Melvyn A. Shapiro 和 Alan J. Thorpe 主编

THORPEX 中国委员会 编译

陈德辉 薛纪善 审校

气象出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

THORPEX 国际科学计划/夏皮罗, 索普主编; THORPEX 中国
委员会编译. 北京: 气象出版社, 2006. 3

ISBN 7-5029-4119-3

I. T... II. ①夏...②索...③T... III. ①气象观测—
研究—计划—世界②天气预报—研究—计划—世界
IV. ①P41—110.2②P45—110.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 020244 号

气象出版社出版

(北京市海淀区中关村南大街 46 号 邮编: 100081)

总编室: 010-68407112 发行部: 010-62175925

网址 <http://cmp.cma.gov.cn> E-mail: qxcbs@263.net

责任编辑: 陈 红 汪勤模 终 审: 陈云峰

封面设计: 王 伟 责任技编: 陈 红 责任校对: 黄云华

*

中国电影出版社印刷厂印刷

气象出版社发行

*

开本: 880×1230 1/16 印张: 4 字数: 102 千字

2006 年 5 月第一版 2006 年 5 月第一次印刷

定价: 45.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等, 请与本社
发行部联系调换

序

《全球观测系统研究与可预报性试验 (THORPEX)》计划是一项为期 10 年,旨在推进观测预报一体化,改进天气预报服务的世界天气研究国际计划,其主要目的是通过组织世界气象组织成员国和国际相关组织的力量,广泛而深入地开展全球大气科学、观测系统试验、可预报性等方面的联合研究,加速提高 1~14 天的天气预报准确率,并使这些先进的预报产品能够形成社会经济应用价值,服务社会。

THORPEX (即 THe Observing system Research and Predictability EXperiment) 首先由英国科学家 Alan J. Thorpe 教授和美国科学家 Melvyn A. Shapiro 教授提出,于 2003 年 5 月获得世界气象组织 (WMO) 第十四次世界气象大会批准,作为世界气象组织大气科学委员会 (WMO/CAS) 的世界天气研究计划 (WWRP) 的重要内容之一。该计划主要包括四个方面内容: (1) 可预报性与动力过程 (Predictability and Dynamical Processes); (2) 观测系统 (Observing System); (3) 资料同化与观测战略 (Data Assimilation and Observing Strategies); (4) 社会与经济建设应用 (Societal and Economic Application)。

THORPEX 计划于 2005 年在全球正式展开。这是大气科学领域的一件大事,将对世界天气、气候研究和气象业务产生深远的影响。THORPEX 计划是一项业务应用目标非常明确——提高天气预报准确率——的研究计划,而天气预报准确率的提高必须与社会经济效益的提高同步实现。因此,其国际合作是全方位的,即需要科研、院校、业务、用户等共同参与。

THORPEX 计划的核心研究是观测系统研究和数值预报系统研究,最终目标是建立全球交互式预报系统 (Global Interactive Forecast System, GIFS)。目前,我国正在进行新的气象综合观测网建设,包括雷达、风廓线仪、大气成分等观测网的建设。借助 THORPEX 研究,做好中国气象综合观测网的设计与建设,开发建设新的、移动的目标/适应性 (targeting/adaptive) 观测系统,将对推动中国气象事业的发展起到关键作用。

中国气象局从一开始就积极推进该项目计划作为 WMO 的科学计划之一组织实施,并希望利用参与 THORPEX 计划的机遇,努力提高我国天气观测与预报能力,实现中国气象事业发展战略研究的天气业务技术发展目标。中国要从

气象大国成为气象强国，这是中国气象事业发展的战略目标。中国走进世界“气象强国俱乐部”是实现这一战略目标的重要途径。THORPEX 计划在 WMO 的 WWRP 组织框架之下，汇集了世界上的气象强国直接参与，如美国、加拿大、欧洲（法国、英国、ECMWF、意大利、德国等）、亚洲（日本、韩国、印度、中国）、澳大利亚等国的国家业务中心、大学、研究机构等人员，这是一个真正意义上的“气象强国俱乐部”。中国参加 THORPEX 计划，加入“气象强国俱乐部”，分享其资源和成果，将为实现从气象大国成为气象强国的目标打下基础。

为了积极参与并主导推进亚洲 THORPEX 合作计划，组织国内研究、业务部门及大学的优势力量开展相关研究，由中国气象科学研究院、南京大学等单位专家编制了中国 THORPEX 科学发展计划。2005 年 1 月，中国气象局牵头组织成立了由国内大气科学领域的主要业务单位、科研机构 and 高等院校有关专家组成的 THORPEX 中国委员会，并组织编译了由 WMO 组织编制的这本《THORPEX 国际科学计划》，以期宣传介绍 THORPEX 相关工作。

希望有志于提高天气预报准确率的各方人士关注和支持 THORPEX 计划的实施。

THORPEX 国际核心指导委员会副主席

THORPEX 中国委员会主席

中国气象局副局长

郑国光

二〇〇五年四月九日

THORPEX: 一项 21 世纪全球 大气研究计划

THORPEX 是一项旨在加快提高 1 天至 2 周重大高影响天气预报准确率的国际研究计划。由于我们正在面临着 21 世纪天气方面的挑战, 因此预报准确率的提高将在很大程度上造福于人类。THORPEX 研究的各子计划着手处理的问题包括: (1) 对各类天气系统演变以及其可预报性产生的全球乃至局部区域影响; (2) 全球观测系统之设计与示范演示; (3) 各类观测的目标与同化; (4) 改进后的各类预报的社会、经济和环境效益。THORPEX 要建立起一个解决天气研究和预报问题的组织框架, 在该框架下通过各学术机构、业务预报中心和预报产品用户之间的国际合作, 加速找出能解决这些问题的办法。

THORPEX 国际科学计划

- 将阐明 THORPEX 计划的科学依据和研究工作安排, 指出今后十年在推动天气研究和预报改进方面存在的可能机遇;
- 将在四项研究子计划的范围内, 确定 THORPEX 的研究目标;
- 将以此为依据, 提出 THORPEX 国际研究实施计划。

随着研究目标的演进和计划实施路线图的绘制形成, 将根据最新的计划内容出版系列的 THORPEX 报告。

本科学计划目前正处在由大气科学委员会 (CAS) 下属世界天气研究计划 (WWRP) 科学指导委员会 (SSC) 组织的细审阶段。

目 录

序

THORPEX: 一项 21 世纪全球大气研究计划

1. 引言	(1)
1.1 科学依据	(1)
1.2 参考文献	(4)
2. 可预报性和动力过程研究	(6)
2.1 科学依据	(6)
2.2 动力过程研究	(7)
2.3 可预报性研究	(13)
2.4 研究目标	(19)
2.5 参考文献	(21)
3. 观测系统研究	(24)
3.1 科学依据	(24)
3.2 遥感和现场观测系统	(26)
3.3 观测系统模拟试验 (OSSE)	(33)
3.4 THORPEX 观测系统测试 (TOSTs), THORPEX 区域试验活动 (TReCs) 和全球预报试验活动	(34)
3.5 研究目标	(35)
3.6 参考文献	(36)
4. 资料同化与观测策略研究	(38)
4.1 科学依据	(38)
4.2 目标策略	(38)
4.3 改进对观测资料的利用	(39)
4.4 适应性资料同化	(41)
4.5 研究目标	(42)
4.6 参考文献	(44)

5. 社会和经济应用研究	(46)
5.1 科学依据	(46)
5.2 天气预报信息的社会影响和经济效益	(47)
5.3 研究目标	(49)
5.4 参考文献	(51)
附录: THORPEX 国际科学计划贡献者	(53)

1. 引言

1.1 科学依据

数值天气预报的成功是 20 世纪最重大的科技和社会进步之一。虽然在过去的 25 年里数值天气预报技巧有了长足的进步（图 1.1），但仍需要进一步提高，尤其是在高影响天气预报的准确率、天气预报信息的利用方面。高影响天气预报定义为对社会、经济和环境产生影响后果的天气预报。高影响天气预报特别地与温带和热带气旋的预报相联系，而这类气旋包含有显著中尺度天气及其影响。影响包括对流天气和地形造成的局地洪水、暴风雪、沙尘暴、破坏性地面风（图 1.2）。高影响天气预报还包括对影响空气质量的气象条件、异常高温/低温、干旱、对社会经济产生高影响的非极端天气的预报。许多这类事件具有低概率、高风险的特征。虽然天气事件似乎不大可能出现，但是，一旦出现，其后果就有可能是灾难性的。提高高影响天气预报的技巧是 21 世纪的科学和社会的重大挑战之一。THORPEX 计划就是迎接这一挑战的计划。

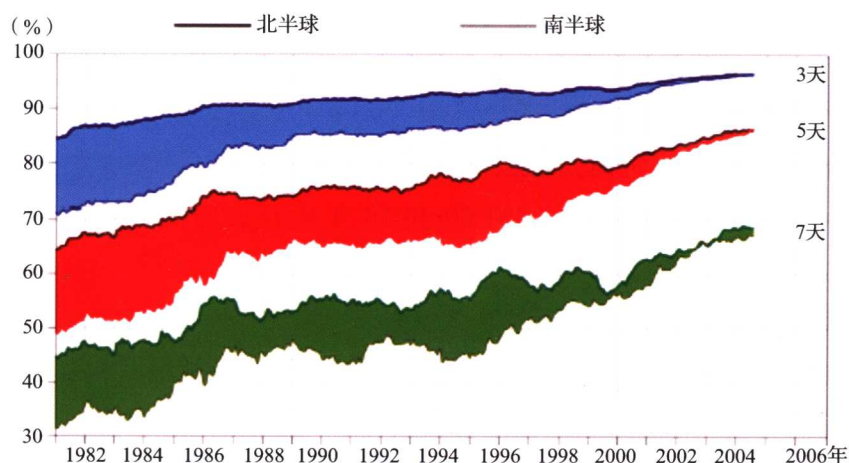


图 1.1 南北两个半球预报技巧的演变：1980—2004 年，欧洲中期天气预报中心制作的南北半球温带 3、5、7 天 500hPa 高度预报的距平相关系数，按 1980 年 1 月至 2004 年 8 月期间距平相关系数滑动平均值绘制。阴影区表示南北半球预报技巧评分差距（Hollingsworth 等，2002）

大气科学技术的新进展为进一步提高高影响天气预报的准确率及其社会应用价值提供了机遇。新进展包括：（1）在大气可预报性理论和实际可预报性局限方面的认识，其

中包括年际和季内气候变率对预报技巧的影响；(2) 利用卫星、空中、海洋和地基观测技术扩大了对地球系统的观测；(3) 数值天气预报系统有能力对用上述各种不同技术获取的观测资料进行同化；(4) 数值算法、物理过程参数化、物理过程显式表示技术、集合预报技术的改进以及巨型计算机的运行速度和内存容量呈指数上升，这些支撑了先进的预报系统的建立；(5) 预报系统在设计和实施方面的创新将推进天气信息在社会经济中的应用。开发利用和推动技术进步的专业知识也在许多国家、国际组织和各类学科之中不断涌现，就像大气包围着地球那样覆盖全球。展望未来若干年，一如既往，将会出现新技术、科学范例、预报系统、社会经济应用策略，这将为我们提供一些重大机遇。THORPEX 的研究工作将适应新形式以便充分利用这些机遇。

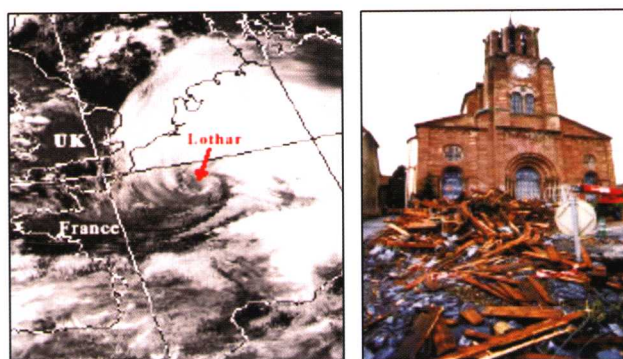


图 1.2 温带气旋“Lothar”伴随每小时约 150km 的地面风所造成的社会经济影响。左图：敦蒂卫星站于 1999 年 12 月 26 日 07:54 (世界时) 接收到的“Lothar”红外云图。右图：“Lothar”破坏了位于法国巴利韦尔的一座教堂 (承蒙 Emmanuel DeBraize 提供)

THORPEX 建立了一个体现时代要求的组织框架，着手解决全球性天气研究和预报问题，而解决这些问题需要学术机构、业务中心和预报信息用户之间开展国际合作，包括与世界气象组织 (WMO)、国际科学理事会 (ICSU)、政府间海洋学委员会 (IOC) 等组织范围内的其它各项国际计划相结合。对此，THORPEX 希望成为第二次全球大气研究计划 (GARP)，建立在 20 世纪 60 和 70 年代开展的第一次 GARP 全球实验 (FGGE) 所取得的成就基础之上。

THORPEX 计划将作为 WMO 世界天气研究计划 (WWRP) 的一个组成部分来展开与实施。在 WMO 大气科学委员会 (CAS) 框架内通过 WWRP 科学指导委员会，并商 CAS/JSC 数值实验工作组 (WGNE) 建立 THORPEX 的国际协调机制。THORPEX 国际科学指导委员会 (ISSC) 负责在 THORPEX 国际核心指导委员会 (ICSC) 指导下制定核心研究目标，ICSC 成员由 WMO 会员国的常任代表指定。将按以下四个子计划制定各项研究目标：(1) 可预报性和动力过程；(2) 观测系统；(3) 资料同化和观测策略；(4) 社会和经济应用。上述四个子计划的责任是：(1) 协调 THORPEX 国际科学计划和实施计划所考虑的各项研究活动；(2) 当需要相关专业技术时或出于互利时，与

其它国际计划开展协作；各国和各国集团设立 THORPEX 区域委员会，负责在 THORPEX 国际科学计划和实施计划的框架下制定各自区域参与 THORPEX 的优先重点工作。

● THORPEX 的核心目标

- ◆ 进一步了解全球范围对区域尺度高影响天气初始条件、演变过程和可预报性产生的影响。目的在于研究：（1）温带气旋的发展、大尺度地形、大陆/海洋界面、有组织的热带和温带对流天气系统剧烈发展对罗斯贝波的激发作用，以及这些过程在造成高影响天气发展中所起的作用；（2）预报技巧依赖于年际变率和次季节气候变率，如：厄尔尼诺/南方涛动（ENSO）、太平洋北大西洋涛动（PNA）、北大西洋涛动（NAO）、北冰洋涛动（AO）、季风环流；（3）预报技巧的局限性与观测、资料同化、模式方程和集合预报系统设计的相对贡献有关。
- ◆ 为交互式预报系统的设计和示范做出贡献。交互式预报系统可以使信息以交互方式在预报产品用户、数值预报模式、资料同化系统和观测之间流动，以实现预报技巧的最大化。例如：目标观测的策略就是综合数值预报模式的动力过程信息，确定在何时、从何地、用何种观测能够使与社会经济和环境利益相关的特定天气预报的改进最大。
- ◆ 为开发先进的资料同化系统和集合预报系统做出贡献。这方面工作包括：（1）改进对现有的和试验的观测资料同化，其中包括三态水和大气成分（如：臭氧、气溶胶等）的观测；（2）发展适应性资料同化和目标观测策略；（3）在资料同化系统和集合预报系统的设计中，结合考虑模式的不确定性；（4）评估多模式集合预报系统的应用技术。
- ◆ 开发和应用新方法，加强天气预报应用，提高天气预报的社会经济和环境的价值。这主要通过：（1）用户需要的概率预报产品；（2）引进交互式程序，使预报系统更好地响应用户需求；（3）设计针对用户需要的预报产品，并进行预报产品应用的培训。研究工作将有助于确定和评价 THORPEX 要求建立交互式预报系统和改进全球观测系统所产生的社会经济成本和效益。
- ◆ 进行 THORPEX 观测系统试验（TOSTs）和 THORPEX 区域外场试验（TReCs）。TOSTs 包括：（1）测试和评价实验用的遥感观测系统和现场观测系统，如果可行，则演示各系统对天气预报的影响；（2）探讨创新性利用业务观测系统（如：目标观测）。TReCs 试验是业务预报演示性的，旨在为交互式预报系统的所有组成部分的设计、测试和评价做出贡献。TReCs 试验的组织和协调工作由 THORPEX 区域委员会下的区协成员国负责，如：欧洲、亚洲、北美/南美和南半球。TReCs 试验着手解决区域天气系统的预报问题，如：欧洲、亚洲、

北美洲的北极风暴、冷空气爆发和温带气旋；亚洲的暖季暴雨；有组织的赤道对流天气剧烈发展、热带-温带气旋转换。TreCs 试验需要区域委员会之间的合作。THORPEX 将寻找与其他重要国际计划联合开展 TreCs 试验的机会，如国际极地年（IPY）计划和非洲季风多学科分析（AMMA）计划。

- ◆ 在全球范围内演示 THORPEX 交互预报系统的所有方面内容，演示时间为一个季度乃至一年，以便评估改进后的天气预报和用户产品的实用性。这包括 THORPEX 交互式全球大集合（TIGGE）预报系统，它将集成观测系统发展、目标观测、适应性资料同化、模式改进、预报用户需求、多模式/多分析集合预报系统等方面的内容。
- ◆ 协调 THORPEX 与世界气候研究计划（WCRP）的研究工作：协调地球系统观测和预测（WCRP/COPES）与中/小尺度研究，共同处理 2 周乃至更长时间的天气气候预报预测对观测和模拟需求的问题。
- ◆ 通过 WMO 的有关培训计划，促进 THORPEX 天气预报研究成果向第三世界国家的推广及其业务应用。

● THORPEX 在以下四个方面是唯一的

THORPEX 建立一个组织框架，负责解决当今全球天气研究和预报所面临的各种问题，而这些问题的解决需要各学术机构、业务预报中心和预报信息用户之间的国际合作。THORPEX 的研究领域涉及全球-区域对高影响天气预报的影响。

THORPEX 的核心是试图创建一个划时代的范例，把天气预报变成一个交互式过程，使气象信息在预报用户、预报模式、资料同化、全球和区域观测系统之间流动。

THORPEX 研究年际和次季节大气和海洋变率对两周之内的高影响天气预报影响的问题，因此，希望在中期天气预报和气候预测之间的“中间带”建立起一座桥梁。这就与针对改进次季节、季节和全球气候变化预测系统的各项计划建立起了一种联系。

THORPEX 将开展区域和全球试验，目的在于对各种新观测技术和交互式预报进行演示和评估。因此，THORPEX 将向世界天气监视网（WWW）、要改进预报系统的预报中心、相关组织（如：WMO/CBS 基本系统委员会 CBS）提供关于全球和区域观测系统优化的指导。

1.2 参考文献

Döös Bo R. 2004. The First GARP Global Experiment-a model of international co-

operation. *WMO Bulletin*, **53**: No. 3, 199—206

U. S. Committee for the Global Atmospheric Research Program, Division of Physical Sciences, National Research Council, 1969: National Academy of Sciences, Washington, D. C. , 79pp

Uppala S, Simmons A J, Källberg P. 2004. Global numerical weather prediction an outcome of FGGE and a quantum leap for meteorology. *WMO Bulletin*, **53**: No. 3, 207—212

2. 可预报性和动力过程研究

2.1 科学依据

人们通常会提出有关可预报性的时间和空间限度的问题，究竟是什么决定着这些限度的问题。可预报性的限度取决于在做预报时大气的特性，因为在特定的时间尺度内不同的大气环流特性显示不同程度的可预报性。例如：(1) 全球平均地面气温显示有超过几个世纪时间尺度的可预报性；(2) 在一些特定区域，月平均气温的可预报技能为几个季度到几十年不等；(3) 个别天气尺度的天气系统的可预报性最多只达到 8 天；(4) 至于次天气尺度的天气系统的可预报性长短不一，其锋面系统的可预报性为几天，而在有组织的中尺度天气系统范围内次中尺度云的要素的可预报性只有几个小时或更短时间。

THORPEX 可预报性和动力过程研究将涉及大气、海洋、陆地和数值预报系统方面的问题，因为这些因素都对 1 天至 2 周时间尺度的高影响天气预报的可预报性的局限有贡献。根据可预报性基础研究（如：Lorenz 1963；Leith 和 Kraichnan 1972）提出的科学理论确认，不确定性增长，也即混沌动力系统的可预报性限度，归因于慢变大尺度环流与小尺度、短寿命、已被求解和未被求解的运动之间的双向能量串级。从大气可预报性的角度来看，在星际尺度环流的降尺度能量串级和熵串级的作用下，使天气尺度和中尺度气流形成有组织的系统，最典型的是这些有组织的天气系统又与高影响天气及其预报密切相关。反之，中尺度环流为较小尺度运动的发展提供能量，并在自由大气和在地球表面的湍流耗散中达到最大。在 ENSO 事件的暖期，东太平洋赤道地区上空的加热过程调节了温带纬向时间平均气流，反之，纬向气流影响到温带气旋（包括其内部的次天气尺度结构）的寿命周期（第 2.2 节）。这就是一个降尺度能量串级的例子。

对可预报性限度有贡献的一个关键因素是参数化过程和未被求解过程的能量向大尺度运动作升尺度串级。由于描写上述这些过程的发展和是非线性的相互作用存在误差，从而产生小尺度扰动，随着预报时效的增加，这种小尺度扰动就会渗透到大尺度运动之中，最终降低了大尺度运动的可预报性。上述小尺度过程包括：(1) 深/浅湿对流；(2) 边界层和地表交换；(3) 云和辐射；(4) 在急流/锋面带系统内、与对流层顶相互

作用的对流云系统内，惯性重力波在山地上空的破碎过程。

THORPEX 将着手研究升尺度能量串级对天气尺度和星际尺度天气系统生命周期产生的作用及其可预报性的问题。这需要中/小尺度研究界的合作，他们在：(1) 物理过程参数化及其显式表示；(2) 观测和诊断分析外场试验物理过程等方面进行中的工作，是探索提高 2 周乃至更长时间预报技巧的关键。

总之，THORPEX 可预报性和动力过程研究将针对有关预报属性评估各种因素对当前可预报性限度的贡献，并通过这种因素的评估、确认，发展和演示新的动力学解释，以及延长可预报性限度的观测系统和预报策略。

2.2 动力过程研究

THORPEX 动力过程研究的重点是深入了解高影响天气演变及其可预报性的全球到区域的影响。一个基本的前提是：列出各类隶属于大尺度运动范畴的区域性天气事件及其预报。其中包括：(1) 温带气旋，其路径和预报技巧受年际、次季节时间平均气流异常的调整；(2) 与大尺度罗斯贝波列（波包）相关的下游斜压发展而形成的温带气旋，如图 2.1 和图 2.2 所示；(3) 锋面和在天气尺度变形作用下形成的锋面中尺度降水系统；

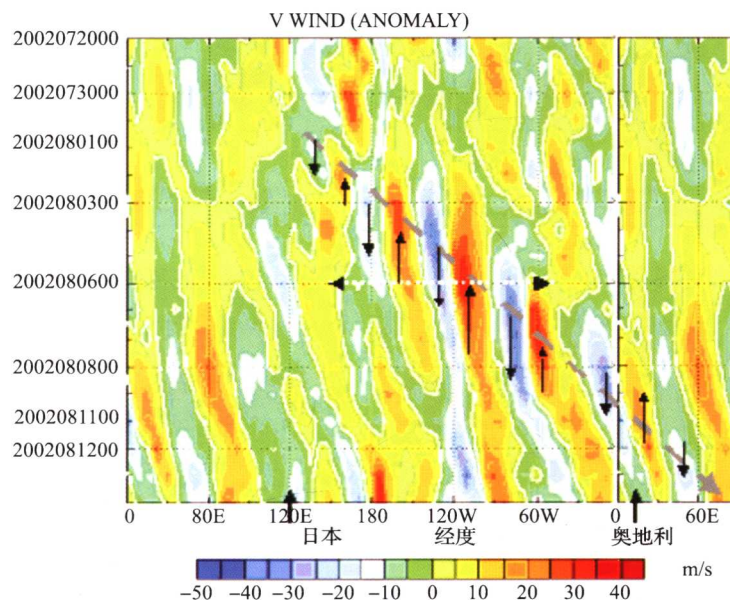


图 2.1 2002 年 7 月 28 日至 8 月 14 日期间沿 40°~60°N 纬度带取 250hPa 的平均经向风分量 (m/s) 的时间变化，合成为 Hovmöller 时间-经度合成图。在这一期间在中欧发生了一次罕见的洪水。8 月 1 日，在日本以东生成的气旋激发了一个罗斯贝波列，紧随其后出现若干大幅度罗斯贝波快速向下游发展，最终导致 2002 年 8 月 11 日在欧洲发生大洪水。图 2.2 中的白色虚线表示 8 月 6 日上述罗斯贝波列经向发展的范围。作出高技巧的欧洲范围中尺度天气预报则取决于成功地预报出在日本以东生成的气旋和后续传播的罗斯贝波

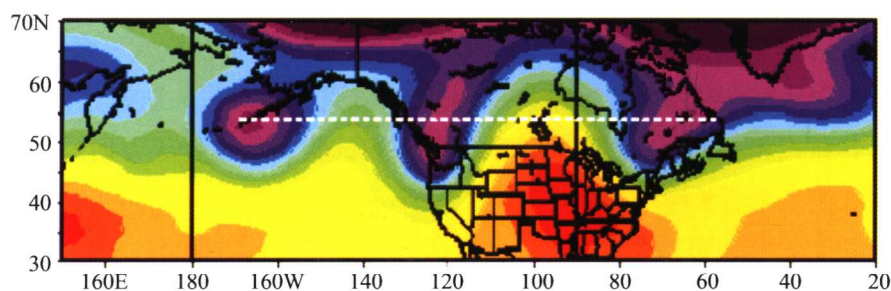


图 2.2 2002 年 8 月 6 日的罗斯贝波列 (见图 2.1)。250hPa 位势高度, 等值线间隔为 50d gpm。白色虚线: 罗斯贝波列的散射路径和经向范围

(4) 有组织的中尺度对流降水系统, 这种系统形成于天气尺度气流将属性不同的气团汇合在一起的地方, 如: 梅雨 (Baiu) 锋面、北极锋面、东北大西洋的“西班牙烟羽”云带; (5) 热带气旋及其变性, 热带气旋通过与温带西风带中的天气尺度波相互作用而变性为温带气旋 (Jones et al. 2003); (6) 副热带气旋, 这类气旋通过与温带斜压波相互作用, 转变为季末热带气旋 (Davis 和 Bosart 2003)。THORPEX 研究还将涉及次季节和年际现象的演变, 从而抓住并找出高影响天气的生命周期及其可预报技巧对行星尺度影响的显著依赖程度, 如: MJO, NAO, AO 和 ENSO 的相位 (图 2.3)。这代表了天气预报与气候预测之间的一个主要交叉点。

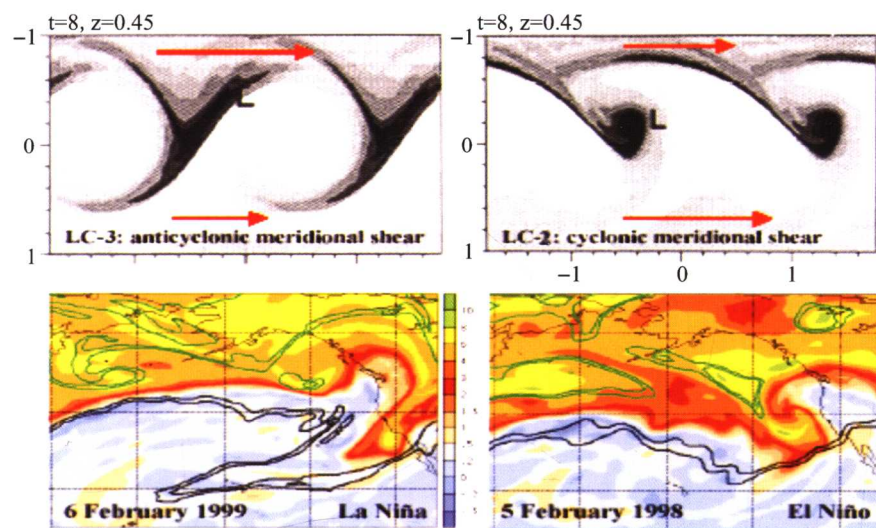


图 2.3 理想化的和观测到的位势涡度 (PV) 分布, 显示不同行星尺度时间平均气流对罗斯贝波中断的影响。上图: 在反气旋 (左图 LC3) 和气旋 (右图 LC2) 时间平均经向正压切变影响下的理想化半地转模拟; 阴影区表示 $PV > 1.5$ PVU, (Davies et al 1991)。下图: ECMWF 提供的分别为 ENSO 冷和暖阶段位于 3 层等熵面上的观测位涡 (PV); (左图) 1999 年 2 月 6 日 1200 世界时 (拉尼娜); (右图) 1998 年 2 月 5 日 1200 世界时 (厄尔尼诺)。300-K PV (绿线, 2 和 3 PVUs); 320-K PV (PVU, 阴影彩条); 340-K PV (黑线, 2 和 3 PVUs)。在 1998 年和 1999 年 1 月 16 日~2 月 28 日期间, 在北太平洋东部上空的对流层顶 PV 生命周期主要分别受气旋和反气旋罗斯贝波中断的影响 (Shapiro 等, 2001)

THORPEX 动力过程研究重点的举例讨论如下：(1) 罗斯贝波列及其与预报误差传播和补偿性位势涡度 (PV) 的关系；(2) 大尺度有组织的热带对流的初始生成与维持，及其对热带和温带天气预报技巧的影响。

罗斯贝波列：罗斯贝波列的激发和消散是高影响天气及其预报的局地影响全球传播的一个例子。通常地，给出罗斯贝波列活动有技巧的预报，是预报出天气尺度形势必不可少的一个条件，而更小尺度的高影响天气事件又在超过 2 周的预报时间内在这类天气形势内演变。罗斯贝波列被气流分量进行初始化，如：(1) 下游斜压发展 (Orlanski 和 Sheldon 1993)；(2) 温带气流与大地形的相互作用，如青藏高原、格陵兰岛 (图 2.4)；(3) 热带湿对流-加热过程变化，该过程变化与 ENSO、MJO、热带海洋辐合带的和季风区的高频对流变率相联系。其它感兴趣的方面包括：(1) 建立并维持罗斯贝波指导参数；(2) 由罗斯贝波列内单个天气尺度波触发的次天气尺度特征及其对波列消散的反馈作用。罗斯贝波列传播的群速度相当于预报误差从初始条件误差的局部区域向上游 (下游) 传播的速度。罗斯贝波列和预报误差能够在北纬 45° 实现 12 天以内的半球循环 (Chang 和 Yu 1999)，图 2.1 和图 2.2 显示的是下游斜压发展引发波列的例子。

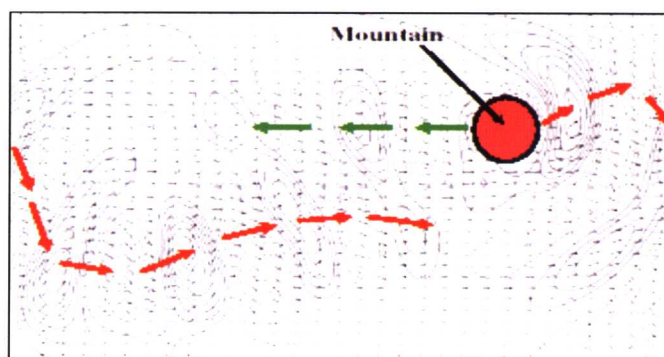


图 2.4 理想化球面行星波列模拟，这是由一个赤道西风带正压急流撞击在一个高 2km、直径 2000km 的锥形山 (红圈) 引发的行星波列。等值线表示经向速度分量 (以 m/s 为单位)，并叠加上了模拟 15 天之后在 4km 高度上的气流向量。虚线表示负值；红色和绿色箭头分别表示下游和上游波列扩散路径 (Smolarkiewicz, 等. 2001)

位势涡度图：位势涡度 (PV) 分布具有准平衡动力特征，这是天气尺度的天气系统发展时最为重要的特征。位涡图对于识别和跟踪扰动中心很有用，这是由于它具有多种动力学特性：(1) 守恒性 (在某些个例)；(2) 由于不可逆的物理过程所导致的非守恒性；(3) 可逆性。利用守恒性和可逆性来推断准平衡气流的动力过程称作位涡思维。当位涡的不确定性大小与背景位涡相比足够大时，诊断预报模式的位涡变化规律则是